نشریه علوم دامی
(پژوهش و سازندگی)

شماره ۱۳۲، پاییـــز ۱۴۰۰
ص‌ص: ۱۸۱~۱۹۴

هم‌خونی و اثر آن بر صفات تولید شیر جمعیت گاوهای هلشتاین ایران

• رضا توحیدی[1*]، مختارعلی عباسی[2]، بهروز محمد نظری[2]، رستم پهلوان[2]

۱ گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی تربت جام، خراسان رضوی، تربت جام.
۲ مرکز اصلاح نژاد و بهبود تولیدات دامی کشور، کرج، ایران.

تاریخ دریافت : آذر ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش : اسفند ۱۳۹۹

شماره تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۵۰۰۷۴۴۳
Email: r.tohidi@tjamcaas.ac.ir

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ASJ.2021.352349.2115

چکیده

اطلاعات شجره ۲،۳۹٤،۵۱۷ رأس گاو هلشتاین ایران به منظور بررسی روند هم‌خونی و تأثیر هم‌خونی بر صفات تولید شیر، چربی و پروتئین از سال ۱۳٦۵ تا ۱۳۹۸ مورد استفاده قرار گرفت. برای محاسبه ضرایب هم‌خونی از نرم‌افزار CFC و برای تعیین افت ناشی از هم‌خونی به روش محاسبه ضریب تابعیت صفات تولیدی از ضریب هم‌خونی، از نرم‌افزار WOMBAT استفاده شد. میانگین ضریب هم‌خونی کل جمعیت و حیوانات هم‌خون به ترتیب ۰/۷۷۷ و ۱/٦۸۱ درصد محاسبه شد. به طور کلی، روند تغییرات هم‌خونی مثبت و برای سال‌های اخیر ۰/۱۷ درصد در سال بود. هرچند، این روند برای حیوانات هم‌خون ۰/۲۹- درصد در سال محاسبه شد ولی، تعداد حیوانات هم‌خون روند افزایشی داشت. بررسی وضعیت اثر هم‌خونی بر صفات تولیدی نشان داد که به ازای ۱ درصد افزایش ضریب هم‌خونی مقدار تولید شیر، چربی و پروتئین به ترتیب ۱۱/۸۷، ۰/۳۹ و ۰/۲۹کیلوگرم کاهش داشت. استفاده از اسپرم‌ها و گاوهای ماده داخلی سبب محدود شدن جمعیت و افزایش آمیزش‌های خویشاوندی شده است؛ هرچند، آمیزش‌های نزدیک کنترل می‌شوند. وجود اثر منفی هم‌خونی بر صفات تولیدی و از طرف دیگر افزایش تعداد حیوانات هم‌خون نشان می‌دهد که استراتژی‌های پرورشی و جفتگیری حیوانات نیاز به بررسی مداوم دارند و در صورت لزوم می‌توان با استفاده از ورود اسپرم‌های خارجی مانع از افزایش آمیزش‌های خویشاوندی در آینده شد.

واژه‌های کلیدی: روند هم‌خونی، افت ناشی از هم‌خونی، تولید شیر، هلشتاین.

Animal Science Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 132 pp: 181-194

Inbreeding and its effect on milk production traits of Iranian Holstein cattle

By: Reza Tohidi[1*], Mokhtar Ali Abbasi[2], Behrouz Mohammad Nazari[2], Rostam Pahlavan[2]
[1]Dept of Animal Science, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran
[2]Animal Breeding Center and Production Improvement of Iran, Karaj, Iran
* r.tohidi@tjamcaas.ac.ir

Received: December 2020 **Accepted: March 2021**

In order to investigate the rates of inbreeding trend and also the effect of inbreeding on milk, fat and protein yields, the pedigree data of 2,394,517 Iranian Holstein cattle from 1986 to 2019 which collected was used. CFC software was utilized to calculate the inbreeding coefficients, and WOMBAT program was applied to estimate the inbreeding depression by determining regression coefficient of production traits on inbreeding coefficient. The average of inbreeding coefficients in the whole population and inbred animals were estimated as 0.777 and 1.681 percent, respectively. In general, the rate of inbreeding trend was positive and for recent years it was 0.17 percent per year. However, this rate was estimated as -0.29 percent per year for inbred animals, the number of inbred animals was increasing. Examination of the effect of inbreeding on production traits showed that per 1 percent increase in inbreeding coefficient resulted in 11.87, 0.39 and 0.29 kg decrease in milk, fat and protein yields, respectively. The use of domestic sperms and cows has limited the population and increased relative mating. However, close relative mating has been controlled. The existence of negative effect of inbreeding on production traits and on the other hand, increasing the number of inbred animals indicates that breeding and mating strategies of animals need to be continuously reviewed, and if it is necessary close relative mating can be limited using imported sperms.

Key words: Inbreeding trend, Inbreeding depression, Milk production, Holstein.

مقدمه

استفاده از تعداد محدودی گاو نر رجیستر شده در دنیا باعث افزایش نگرانی درباره افزایش هم‌خونی در جمعیت‌های گاو شیری شده است. با توجه به محدودیت در استفاده از گاو نر مولد می‌توان گفت که اندازه مؤثر جمعیت‌های گاو شیری محدود است و برنامه‌های انتخاب این محدودیت را تشدید می‌کنند (Leroy، ۲۰۱۴). بنابراین، با توجه به اندازه مؤثر جمعیت‌ها که بین ۱۰ها تا چند صد رأس قرار دارد، اجتناب از هم‌خونی طی نسل‌های متمادی غیر ممکن است (Leroy و همکاران، ۲۰۱۳). پرورش‌دهندگان گاو شیری باید با پدیده هم‌خونی و نتایج آن در گله آشنا باشند.

Falconer و Mackay (۱۹۹۶) افت ناشی از هم‌خونی را به عنوان کاهش میانگین فنوتیپی صفات مرتبط با تولیدمثل تعریف کردند ولی، این پدیده هر صفت تحت انتخاب را می‌تواند تحت تأثیر قرار دهد (Leroy، ۲۰۱۴). سه فرضیه به عنوان پایه ژنتیکی کاهش تولید ناشی از هم‌خونی مطرح شده است؛ غلبه ناقص، غلبه ماورایی و اپیستازی که آخری مبتنی برافزایش احتمال ترکیب ژن‌های مطلوب در هتروزیگوت‌هاست (Jain و Allard، ۱۹۶۵؛ Kristensen و همکاران، ۲۰۱۰). شدت انتخاب طی نسل‌ها ممکن است از اثرات افت ناشی از هم‌خونی بکاهد، بنابراین، میزان افت ناشی از هم‌خونی می‌تواند بین جمعیت‌ها و زمان‌های مختلف متفاوت باشد (McParland و همکاران، ۲۰۰۹).

تأثیر اقتصادی افت ناشی از هم‌خونی به میزان خلوص نژاد ارتباط دارد (Gama و Smith، ۱۹۹۳). این موضوع در پرورش طیور که گله‌های تجاری آن حاصل آمیخته‌گری هستند چندان اهمیت

ندارد. ولی، مدیریت افت ناشی از هم‌خونی در گله‌های گاو شیری که عمدتاً نژاد خالص هستند یکی از نگرانی‌های عمده محسوب می‌شود (Leroy، ۲۰۱۴). در نژادی مانند هلشتاین، روند هم‌خونی سالانه حدود ۰/۱۲ درصد تخمین زده شده است که با در نظر گرفتن فاصله نسلی پنج سال، این روند در هر نسل ۰/۶ درصد خواهد بود (Danchin-Burge و همکاران، ۲۰۱۱). میزان افت ناشی از هم‌خونی سالانه تولید شیر گاو هلشتاین در یک تحقیق مروری متاآنالیز ۰/۰۴۴ درصد میانگین فنوتیپی برآورد شد که با توجه به تخمین ۱۰۰ کیلوگرم پیشرفت ژنتیکی سالانه به ازای هر دوره شیردهی، حدود ۴/۴ درصد پیشرفت ژنتیکی بود (Leroy، ۲۰۱۴). بررسی تأثیر هم‌خونی بر سود اقتصادی گاو هلشتاین در مورد صفت ورم پستان نشان داد که به طور متوسط به ازای یک درصد افزایش هم‌خونی ۶/۱۳ تا ۱۱ یورو کاهش سود وجود دارد (Croquet و همکاران، ۲۰۰۶؛ Sorensen و همکاران، ۲۰۰۶).

از زمانی که محاسبه ضریب هم‌خونی در جمعیت‌های بزرگ به کمک وجود رایانه‌های پر قدرت و الگوریتم‌های پیشرفته امکان‌پذیر شده، مطالعات متعددی در جمعیت‌های مختلف گاو شیری انجام گرفته است (VanRaden، ۱۹۹۲؛ Miglior و همکاران، ۱۹۹۲؛ Wiggans و همکاران، ۱۹۹۵؛ Cassell و همکاران، ۲۰۰۳). اساساً، میزان افت ناشی از هم‌خونی با محاسبه ضریب تابعیت صفت تولیدی بر ضریب هم‌خونی به دست می‌آید (Curik و همکاران، ۲۰۰۱؛ Silva و همکاران، ۲۰۱۹). در گزارش Leroy (۲۰۱۴) نتایج مطالعات مختلف درباره اثر هم‌خونی بر صفات اقتصادی دام‌های اهلی ارائه شده است. در تمام این مطالعات اثر هم‌خونی بر صفات تولیدی منفی برآورد شد. تأثیر هم‌خونی بر تولید شیر، سن اولین زایش و فاصله زایش در گاوهای هلشتاین برزیل نیز منفی برآورد شد (Silva و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین، نتایج مشابهی در مطالعه Doekes و همکاران (۲۰۱۹) در گاوهای هلشتاین-فریزین هلند به دست آمد. میزان افت ناشی از هم‌خونی صفات تولید شیر و چربی گاوهای هلشتاین ایران برای اولین بار به ترتیب ۱۲/۴۵۲- و ۰/۳۹۳- کیلوگرم به ازای یک درصد افزایش هم‌خونی گزارش شد (Tohidi و همکاران، ۲۰۰۲). این مقادیر برای این جمعیت در مطالعه رکوعی و همکاران (۱۳۹۰) به ترتیب ۱۹/۰۷- و ۰/۴۴۱- کیلوگرم و در مطالعه Atashi و همکاران (۲۰۱۱) به ترتیب ۱۹- و ۰/۷- کیلوگرم گزارش شده است.

با توجه به آن که روند هم‌خونی طی نسل‌های متمادی وابسته به استراتژی‌های انتخاب و استفاده از گاوهای نر پروف شده است و از طرف دیگر هم‌خونی بر صفات اقتصادی تأثیر منفی دارد، بنابراین، لازم است این روند تغییرات مدام مورد مطالعه قرار گیرند که متناسب با نتایج بتوان استراتژی‌های انتخاب را بازنگری کرد. لذا، مطالعه حاضر به منظور بررسی وضعیت هم‌خونی در جمعیت گاوهای هلشتاین ایران و اثر هم‌خونی بر صفات تولید شیر، چربی و پروتئین انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از اطلاعات شجره و رکورد تولید گاوهای هلشتاین ایران که توسط مرکز اصلاح نژاد دام و بهبود تولیدات دامی کشور طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۸ جمع‌آوری و ثبت شده است، استفاده شد. شجره مورد استفاده شامل ۲،۳۹۴،۵۱۷ رکورد از ۵۱۷۲ گله بود. از این تعداد ۱۰۰۶۲۶ حیوان نر و ۲۲۹۳۸۹۱ حیوان ماده بود. برای بررسی شجره و محاسبه ضریب هم‌خونی از نرم افزار CFC (Sargolzaei و همکاران، ۲۰۰۶) استفاده شد که تغییر یافته الگوریتم Colleau (2002) بود.

داده‌های اولیه مربوط به فایل تولید شامل ۴۱۹۱۳۲ حیوان ماده بود که شامل رکورد تولید شیر، چربی و پروتئین دوره شیردهی اول تصحیح شده بر مبنای ۳۰۵ روز شیردهی و دو بار دوشش در روز از ۱۶۳۴ گله و سال زایش از ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸ بودند. تنها گاوهای در محدود سنی ۲۰ تا ۴۰ ماه برای زایش اول (رکوعی و همکاران، ۱۳۹۰) و محدوده تولید شیر بین ۲۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ کیلوگرم و تولید چربی و پروتئین بین ۱۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم (Coffey و همکاران، ۲۰۱۶) انتخاب شدند. همچنین با توجه به آن که اثر ضریب هم‌خونی حیوان به عنوان متغیر کمکی در مدل ارزیابی ژنتیکی قرار گرفت بنابراین، تنها گاوهایی استفاده شدند که دارای ضریب

همخونی غیر صفر بودند. با توجه به موارد بالا حیوانات دارای رکورد به ۲۴۳۷۹۹ حیوان کاهش یافت.

میزان افت ناشی از همخونی با برآورد ضریب تابعیت عملکرد تولید بر ضریب همخونی حیوان محاسبه شد. مدل حیوانی مورد استفاده در این آنالیز به صورت زیر بود:

$$y_{ij} = HYS_i + \beta_1 Age_j + \beta_2 F_j + a_j + e_{ij}$$

که در آن Y_{ij}، رکورد حیوان؛ HYS_i، اثر ثابت گله-سال-فصل؛ β_1، ضریب تابعیت برای اثر متغیر کمکی سن حیوان زمان زایش (ماه)؛ β_2، ضریب تابعیت برای اثر متغیر کمکی ضریب همخونی حیوان؛ a_j، اثر تصادفی ژنتیکی افزایشی حیوان و e_{ij} اثر باقیمانده است.

برای برآورد اثرات ثابت و ضرایب تابعیت از نرم افزار WOMBAT (Meyer، ۲۰۰۷) استفاده شد. برای اثر حیوان فرض شد که دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس $A\sigma^2a$ است:

$$N(0, A\sigma^2a)$$

نتایج و بحث

روند همخونی

اطلاعات شجره مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است. تعداد کل حیوانات شجره ۲۳۹۴۵۱۷ رأس بود که ۹۵/۸۱ درصد آن را حیوانات ماده تشکیل میدادند. درصد حیواناتی که فقط دارای پدر مشخص، فقط دارای مادر مشخص، دارای پدر و مادر مشخص و دارای پدر و مادر نامشخص بودند به ترتیب ۵/۷۲۲، ۰/۰۰۶، ۸۷/۳۶۵ و ۶/۹۰۷ درصد بود. این مقادیر در مطالعه توحیدی و همکاران (۱۳۸۷) به ترتیب ۶/۲، ۷/۴، ۵۷/۷ و ۲۸/۷ درصد گزارش شد. همچنین در آن مطالعه تعداد مادهها ۹۴ درصد کل جمعیت بود (توحیدی و همکاران، ۱۳۸۷). در بررسی حاضر سال پایه ۱۳۶۵ بود در حالی که در مطالعه توحیدی و همکاران (۱۳۸۷) سال پایه ۱۳۴۶ در نظر گرفته شد و در آن مطالعه شجره نقص زیادی داشته است. هرچند، در مطالعه حاضر تعداد ۱۱۷۶۴۵۱ حیوان فاقد فرزند ثبت شده بودند و تعداد ۱۲۸۷۵۰۲ حیوان همخون نبودند (جدول ۱)، که علت آن میتواند قطع ارتباط با اجداد مشترک طی نسلها به سبب عدم ثبت صحیح شماره حیوانات توسط گلهداران باشد، ضمن آن که ورود اسپرم و یا گاوهای ماده جدید به گلهها میتواند سبب کاهش ضریب خویشاوندی حیوانات شده باشد (Atashi و همکاران، ۲۰۱۱).

میانگین ضریب همخونی کل جمعیت، نرها و مادهها به ترتیب ۰/۷۷۷، ۱/۰۷۶ و ۰/۷۶۴ درصد بود (جدول ۲)، که نسبت به گزارش توحیدی و همکاران (۱۳۸۷) بیشتر ولی مشابه گزارش Atashi و همکاران (۲۰۱۱) بود. شاید کاملتر شدن شجره دلیل اصلی افزایش برآورد میزان همخونی در این جمعیت باشد. میانگین ضریب همخونی در حیوانات همخون نیز برای کل حیوانات، نرها، و مادهها به ترتیب ۱/۶۸۱، ۲/۳۸۸ و ۱/۶۵۱ درصد بود که نسبت به مطالعه توحیدی و همکاران (۱۳۸۷) کاهش نشان میدهد. حداکثر ضریب همخونی ۴۶/۸۲ درصد بود که به دلیل آمیزشهای نزدیک خویشاوندی است. مطالعه Casanova و همکاران (۱۹۹۲) روی نژاد براون سوییس نشان داد که برآورد ضریب همخونی بر اساس شجره طی سالهای مورد مطالعه دارای چند مرحله شامل کاهش، افزایش آهسته و افزایش شدید در سالهای آخر مورد بررسی بوده است. در سالهایی که آمیختهگری انجام شده بود کاهش ضریب همخونی مشاهده شد و زمانی که انتخاب شدید انجام گرفته بود، ضریب همخونی افزایش داشت (Casanova و همکاران، ۱۹۹۲). میانگین ضریب همخونی گاوهای ماده هلشتاین کانادا ۱/۲ درصد و برای همخونها ۳/۳ درصد گزارش شده است (Miglior و همکاران، ۱۹۹۲). برای جمعیت گاوهای هلشتاین جمهوری چک ۱۹۴۰۵ خانواده تنی به دست آمد و ۶۵/۹۳ درصد حیوانات همخونی بین صفر و ۵ درصد داشتند در حالی که فقط ۰/۳۹ درصد حیوانات دارای ضریب همخونی بیشتر از ۱۰ درصد بودند (Hofmannova و همکاران، ۲۰۱۱). میانگین ضریب همخونی گاوهای هلشتاین آلمان طی سالهای ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۸، ۳/۳ درصد با حداکثر ۳۹/۰۹ درصد محاسبه شد (Hinrichs و همکاران، ۲۰۱۵). تفاوت نتایج جمعیتهای مختلف به علت تفاوت در عمق

شجره و اهداف اصلاحی مختلف است (Hinrichs و همکاران، ۲۰۱۵). بیشتر از ۹۰ درصد حیوانات جمعیت گاوهای هلشتاین کانادا از سال ۱۹۸۰ و تمام گاوهای نر پروف شده دارای هر دو والد مشخص بودند. میزان هم‌خونی و شاخص کامل بودن شجره از ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۸ افزایش داشت. هرچند، سرعت افزایش هم‌خونی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ به دلیل افزایش اندازه مؤثر جمعیت، کمتر بود (Stachowicz و همکاران، ۲۰۱۱). بیشتر از ۶۰ درصد گاوهای ماده هلشتاین هلند هم‌خون نبودند و حداکثر هم‌خونی ۸ درصد محاسبه شد (Doekes و همکاران، ۲۰۱۹). کیفیت شجره در ارزیابی ضریب هم‌خونی و ارزش‌های ژنتیکی تأثیر مستقیم دارد (Hofmannova و همکاران، ۲۰۱۹).

جدول ۳ فراوانی حیوانات را در دسته‌های مختلف هم‌خونی نشان می‌دهد. به طور کلی ۵۳/۷۷ درصد از حیوانات شجره هم‌خون نبودند که چند علت می‌توان برای آن متصور شد از جمله آن که به دلیل نقص شجره، اسلاف مشترک نامعین شده‌اند و همچنین ممانعت پرورش‌دهندگان از آمیزش‌های خویشاوندی نزدیک سبب کاهش ضریب خویشاوندی شده است. حدود ۹۸ درصد از حیوانات هم‌خون دارای ضریب هم‌خونی بیشتر از صفر تا ۶/۲۵ درصد بودند. درصد حیوانات هم‌خون با افزایش ضریب هم‌خونی کاهش یافته به طوری که تنها حدود ۰/۴۳ درصد از حیوانات هم‌خون، دارای ضریب هم‌خونی بالای ۲۵ درصد بودند. این مقادیر نشان می‌دهد به طور کلی آمیزش‌های خویشاوندی بین خویشاوندان دور انجام گرفته است. تعداد ۶۷۶۳ حیوان ضریب هم‌خونی بالای ۱۸/۷۵ درصد داشتند که هرچند، تعداد کمی است (۰/۶۱٪) ولی اگر این حیوانات نقش جد مشترک داشته باشند، می‌توانند باعث افزایش هم‌خونی در آینده شوند. با توجه به وجود ۶۲۶۱۸ خانواده تنی در جمعیت (جدول ۱)، وجود ضرایب هم‌خونی زیاد قابل انتظار است. در مجموع تعداد نرهای هم‌خون با ضریب هم‌خونی بالای ۱۲/۵ درصد زیاد نبود (جدول ۳). ولی با توجه به آن که حیوان نر ممکن است در گله باقی بماند و به عنوان پدر در سال‌های آینده مورد استفاده قرار گیرد، در صورتی که ضریب هم‌خونی بالایی داشته باشد می‌تواند موجب افزایش ضریب هم‌خونی جمعیت در آینده گردد. ضریب هم‌خونی شدیداً وابسته به نزدیک‌ترین جد مشترک والدین هر حیوان است. کامل بودن شجره باعث برآورد صحیح ضریب هم‌خونی حیوانات شده و تفاوت برآورد ناشی از روش‌های مختلف محاسبه را کاهش می‌دهد (Cassell و همکاران، ۲۰۰۳).

روند سالانه هم‌خونی برای کل جمعیت، نرها و ماده‌ها در شکل ۱ ارائه شده است. از آن جا که بیشتر جمعیت را ماده‌ها تشکیل می‌دهند (۹۶٪) بنابراین، دو منحنی کل جمعیت و حیوانات ماده تقریباً روی هم منطبق شده‌اند. از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۲ تغییر چندانی در ضریب هم‌خونی دیده نمی‌شود. در آن سال‌ها ثبت شجره با دقت انجام نمی‌گرفت و امکانات کامپیوتری وجود نداشته است. بنابراین، محاسبه ضریب هم‌خونی به طور صحیح انجام نگرفته است. از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۸ افزایش ضریب هم‌خونی با شیب ملایم (۰/۰۲ درصد در سال) ولی به طور معنی دار ($P < 0.01$) افزایش یافته است. سپس طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۷ افزایش سالانه ضریب هم‌خونی با نسبت بیشتری (۰/۱۷ درصد در سال) و به طور معنی‌دار ($P < 0.01$) صورت پذیرفته است. در این سال‌ها ثبت شجره با دقت بیشتری انجام گرفته و همچنین تعدادی از نقایص شجره بر طرف شده است. از طرف دیگر بعضی از نرهای دارای ضریب هم‌خونی بالا ممکن است چندین بار به عنوان پدر استفاده شده باشند. به عنوان مثال یک حیوان نر متولد ۱۳۹۱ با ضریب هم‌خونی ۲۵ درصد، در سال ۱۳۹۳ شش بار به عنوان پدر مورد استفاده قرار گرفته بود. علاوه بر این، تعداد ماده‌ها طی این سال‌ها نیز تقریباً ثابت بوده و جمعیت آن‌ها محدود شده است.

تابعیت روند تغییرات هم‌خونی از سال تولد برای نرها نیز مثبت بود (۰/۰۷ درصد در سال). عمده افزایش ضریب هم‌خونی حیوانات نر از سال ۱۳۸۸ اتفاق افتاده است که دلایل آن نیز مشابه موارد ذکر شده است؛ زیرا جمعیت حیوانات نر جدا از کل جمعیت نیست. استفاده از تلقیح مصنوعی و محدودیت ورود گاوهای خارجی در دهه ۷۰ از جمله علت‌های افزایش ضریب هم‌خونی جمعیت گاوهای هلشتاین ایران بوده است (توحیدی و همکاران، ۱۳۷۸).

شکل ۲ روند تغییرات ضرایب هم‌خونی برای جمعیت حیوانات هم‌خون را نشان می‌دهد. به طور کلی، تابعیت ضریب هم‌خونی از سال تولد برای نرها و ماده‌ها منفی و به ترتیب ۰/۲۹- و ۰/۵۴- درصد بود. هرچند، از سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۳ میانگین ضرایب هم‌خونی بالا بود که علت اصلی آن محدود بودن تعداد حیوانات گله و آمیزش‌های نزدیک خویشاوندی بوده است ولی، از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۱ روند کاهش ادامه داشته (۱/۱۳- درصد) و از ۱۳۸۱ به بعد تقریباً روند کاهش کم و با ثبات بوده است (۰/۰۶۴- درصد). وضعیت روند درصد حیوانات هم‌خون در سال‌های مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. به طور کلی روند افزایش تعداد حیوانات از ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۷ مثبت بود (۳/۸۳ درصد در سال). همان طور که ملاحظه می‌گردد نسبت حیوانات هم‌خون تا سال ۱۳۷۴ تغییر زیادی نداشته است. از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۸ به آرامی افزایش تعداد حیوانات هم‌خون مشاهده می‌گردد (۱/۹۰ درصد در سال) و از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۷ میزان افزایش تعداد حیوانات هم‌خون شدت بیشتری داشته است (۷/۲۸ درصد در سال). این نسبت افزایش تعداد حیوانات هم‌خون در سال‌های اخیر به همراه کاهش میانگین ضریب هم‌خونی جمعیت هم‌خون نشان می‌دهد که علی‌رغم کنترل آمیزش‌های خویشاوندی نزدیک، هم‌چنان ضرایب خویشاوندی در حال افزایش هستند. بسته بودن جمعیت و عدم ورود اسپرم خارجی و گاوهای ماده خارجی می‌تواند دلیل اصلی افزایش تعداد حیوانات هم‌خون باشد. باید توجه داشت که از سال ۱۳۷۴ اسپرم‌های داخلی جایگزین اسپرم‌های خارجی شدند که این موضوع سبب افزایش ضریب خویشاوندی جمعیت شد (توحیدی و همکاران، ۱۳۷۸). همچنین، روند افزایش ضریب هم‌خونی برای سال‌های ۱۹۸۱ تا ۱۹۹۱، ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۱ مثبت و به ترتیب، ۰/۰۱ درصد، ۰/۱۵ درصد و ۰/۳ درصد در سال برآورد شد (Dadar و همکاران، ۲۰۱۴). میزان روند هم‌خونی گاوهای هلشتاین ایران طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۸ متعلق به ۲۷ گله در مناطق گرمسیری ۰/۰۳۵ درصد در سال برآورد شد (میرزامحمدی و رشیدی، ۱۳۹۲) که تقریباً مشابه نتیجه مطالعه حاضر برای سال‌های مشابه است (۰/۰۲ درصد در سال). استفاده از تعداد کم گاو نر، تلقیح مصنوعی و همچنین ارزیابی ژنتیکی با استفاده از بهترین پیش‌بینی ناریب خطی (BLUP) موجب افزایش آمیزش خویشاوندی می‌گردد (Dadar و همکاران، ۲۰۱۴). میانگین ضریب هم‌خونی جمعیت گاوهای سرابی ۱/۰۹ و ۵/۷۳ درصد به ترتیب برای کل جمعیت و گاوهای هم‌خون بود، که علت آن بسته بودن جمعیت گاوهای سرابی می‌تواند باشد (امیرزاده شمالی و همکاران، ۱۳۹۸). مطالعه Silva و همکاران (۲۰۱۶) روی گاوهای هلشتاین برزیل نشان داد که تنها تعداد کمی گاو نر به طور زیادی مورد استفاده قرار گرفتند. میانگین ضریب هم‌خونی کل جمعیت و جمعیت هم‌خون گاوهای هلشتاین برزیل به ترتیب ۰/۱۷ درصد و ۶/۰۲ درصد محاسبه شد که علت آن استفاده مکرر از مواد ژنتیکی خارجی عنوان شد (Silva و همکاران، ۲۰۱۹). یکی دیگر از دلایل افزایش ضریب هم‌خونی وجود دریفت ژنتیکی ناشی از کاهش اندازه جمعیت مؤثر است (Honda و همکاران، ۲۰۰۴؛ Melka و همکاران، ۲۰۰۸؛ Stachwicz و همکاران، ۲۰۱۱). تعداد ۱۰ جد مشترک بیشترین استفاده در ساختار شجره هلشتاین ایران را داشتند (Dadar و همکاران، ۲۰۱۴). این حیوانات تقریباً در مطالعات مربوط به دیگر جمعیت‌ها مشابه بودند (Koenig و Simianer، ۲۰۰۶؛ Hammami و همکاران، ۲۰۰۷؛ Stachowicz و همکاران، ۲۰۱۱). روند افزایش هم‌خونی جمعیت گاوهای هلشتاین جمهوری چک نیز از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۳ مثبت بود و حدود ۹۰ درصد حیوانات، دارای هر دو والد مشخص بودند (Hofmannova و همکاران، ۲۰۱۹).

اثر هم‌خونی بر صفات تولیدی

میانگین و حداکثر ضریب هم‌خونی گاوهای ماده دارای رکورد تولید به ترتیب ۰/۸ و ۴۳/۷۴ درصد بود، و در مجموع ۵۸/۱۷ درصد از گاوها، هم‌خون با میانگین ضریب هم‌خونی ۱/۳۰ درصد بودند. میزان تابعیت تولید از ضریب هم‌خونی برای صفات تولید شیر، چربی و پروتئین در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که به ازای یک درصد افزایش هم‌خونی میزان تولید شیر،

چربی و پروتئین به ترتیب ۱۱/۸۷، ۰/۳۹ و ۰/۲۹ کیلوگرم کاهش یافته است. میزان اثر هم‌خونی بر تولید شیر و چربی گاوهای هلشتاین ایران به ترتیب ۱۲/۴۵- و ۰/۳۹- کیلوگرم به ازای افزایش ۱ درصد هم‌خونی گزارش شده است (Tohidi و همکاران، ۲۰۰۲). اثر هم‌خونی بر صفات تولید شیر، چربی و پروتئین همین جمعیت در مطالعه Atashi و همکاران (۲۰۱۱) به ترتیب ۱۹-، ۰/۷- و ۰/۴۳- کیلوگرم بود و در مطالعه رکوعی و همکاران (۱۳۹۰) به ترتیب ۱۹/۰۷-، ۰/۴۴۱- و ۰/۴۶- برآورد شده است. مقادیر مشابه در مطالعه Croquet و همکاران (۲۰۰۷) روی نژاد هلشتاین بلژیک ۲۲/۱-، ۱/۱- و ۰/۷۲- کیلوگرم به دست آمد. به طور کلی، هم‌خونی ممکن است بیشتر بر حجم تولید شیر اثر منفی داشته باشد (Atashi و همکاران، ۲۰۱۱). کاهش تولید شیر به ازای افزایش ۱ درصد هم‌خونی در مطالعه Mc Parland و همکاران (۲۰۰۹) ۸/۸۵ کیلوگرم و در مطالعه Silva و همکاران (۲۰۱۹)، ۹ کیلوگرم برآورد شد. از دلایل پایین‌تر بودن تأثیر هم‌خونی بر صفات تولیدی در مطالعه حاضر نسبت به مطالعه دیگران می‌تواند پایین‌تر بودن برآورد ضرایب هم‌خونی در جمعیت گاوهای هلشتاین ایران باشد. هرچند، برآورد اثر افزایش یک درصد همخونی بر تولید شیر گاوهای هلشتاین ایران در مطالعه واحدی درمیان و همکاران (۱۳۹۹) ۶/۵- کیلوگرم بود. افزایش ۱ درصد هم‌خونی باعث کاهش ۳۷/۹۵ کیلوگرم تولید شیر جمعیت گاوهای ماده هلشتاین هلند شد (Doekes و همکاران، ۲۰۱۹). تأثیر هم‌خونی بر تولید شیر در مطالعات دیگران بین ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم گزارش شده است (Biffani و همکاران، ۲۰۰۲؛ Croquet و همکاران، ۲۰۰۶؛ Mc Parland و همکاران، ۲۰۰۷؛ Bjelland و همکاران، ۲۰۱۳). کامل بودن شجره نقش مهمی در برآورد اثر هم‌خونی بر صفات دارد زیرا، نقص شجره منجر به کمتر شدن ضریب هم‌خونی می‌گردد (Cassell و همکاران، ۲۰۰۳).

علاوه بر آن‌که بسیاری از حیوانات به دلیل نقص شجره فاقد ضریب هم‌خونی هستند و یا به عبارتی صفر است، سایرین نیز ضرایب هم‌خونی پایینی دارند که این موضوع بر میزان افت ناشی از هم‌خونی اثر می‌گذارد (Leroy، ۲۰۱۴). ضمن آن‌که نوع تأثیر هم‌خونی بر جایگاه‌های ژنی بر اساس آن‌که تحت تأثیر غلبه ماورایی یا غلبه ناقص باشند متفاوت است (Cruik و همکاران، ۲۰۰۱؛ Cruik و همکاران، ۲۰۰۲). برآورد ضریب هم‌خونی بر اساس اطلاعات ژنومی می‌تواند خطای محاسبه بر اساس شجره را جبران کند (Keller و همکاران، ۲۰۱۱؛ Silio و همکاران، ۲۰۱۳). اثر ٪۱ افزایش هم‌خونی مبتنی بر SNP بر کاهش تولید شیر، چربی و پروتئین به ترتیب ۲۸، ۱/۳ و ۰/۹ کیلوگرم برآورد شد (Pryce و همکاران، ۲۰۱۴).

تأثیر کاهش تولید ناشی از ۱ درصد افزایش هم‌خونی می‌تواند تأثیر منفی قابل توجهی بر درآمد داشته باشد. به عنوان مثال با توجه به افزایش ضریب هم‌خونی گاوهای هلشتاین هلند از ۰/۵ درصد در سال ۱۹۸۰ به ۴/۵ درصد در سال ۲۰۱۰ و با در نظر گرفتن افت ناشی از هم‌خونی ۳۸- کیلوگرم بنابراین، حدود ۱۵۰ کیلوگرم کاهش تولید شیر وجود خواهد داشت (Doekes و همکاران، ۲۰۱۵؛ Doekes و همکاران، ۲۰۱۸). هرچند، در مقایسه با پیشرفت ژنتیکی این میزان کاهش ناشی از هم‌خونی چندان زیاد نیست (Veerkamp و همکاران، ۲۰۱۳). ولی، باید در نظر داشت که تأثیر هم‌خونی بر بسیاری از صفات تولیدی و تولید مثلی منفی است و ترکیب اثر اقتصادی آن‌ها ممکن است تصاعدی باشد (Kristensen و Sorensen، ۲۰۰۵؛ Doekes و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین، افزایش ضریب هم‌خونی، درآمد خالص را کاهش خواهد داد و از طرف دیگر، واریانس ژنتیکی و در نتیجه پیشرفت ژنتیکی کاهش پیدا می‌کند (Doekes و همکاران، ۲۰۱۹)، به علاوه آن‌که اجزای واریانس ژنتیکی کل نیز تغییر خواهد کرد (Nietlisbach و همکاران، ۲۰۱۶).

تأثیر اقتصادی مرتبط با افت ناشی از هم‌خونی در مرحله اول به میزان خلوص دام مربوط می‌شود. مثلاً افت ناشی از هم‌خونی در پرورش طیور با توجه به آن‌که محصول تجاری حاصل آمیخته‌گری است، چندان اهمیت ندارد ولی، بخش عمده‌ای از گاوهای شیری حاصل پرورش خالص هستند و بنابراین، مدیریت هم‌خونی و افت ناشی از آن حائز اهمیت است (Gama و

Smith، ۱۹۹۳). با توجه به آنکه افت ناشی از هم‌خونی برای بسیاری از صفات دارای اهمیت اتفاق می‌افتد بنابراین، درآمد خالص پرورش‌دهنده کاهش می‌یابد (Leroy، ۲۰۱۴). کنترل میزان هم‌خونی از طریق برنامه‌های انتخاب در گاوهای شیری و گونه‌های مبتنی بر پرورش خالص یک ضرورت است (Clark و همکاران، ۲۰۱۳).

جدول ۱- اطلاعات و خصوصیات شجره

شرح	تعداد	شرح	تعداد
کل حیوانات	۲۳۹۴۵۱۷	حیوانات همخون	۱۱۰۷۰۱۵
حیوانات ماده	۲۲۹۳۸۹۱	تعداد پدرها	۲۲۶۹۵
حیوانات نر	۱۰۰۶۲۶	تعداد مادرها	۱۱۹۵۳۷۱
حیوانات دارای فقط پدر معلوم	۱۳۷۰۱۵	حیوانات بدون فرزند	۱۱۷۶۴۵۱
حیوانات دارای فقط مادر معلوم	۱۴۸	جمعیت مؤسس	۱۶۵۸۴۴
حیوانات دارای پدر و مادر مشخص	۲۰۹۱۵۱۰	تعداد خانواده‌های تنی	۶۲۶۱۸
حیوانات دارای پدر و مادر نامشخص	۱۶۵۸۴۴	متوسط تعداد تنی‌ها در خانواده	۲/۱۹

جدول ۲- میانگین ضریب هم‌خونی حیوانات کل شجره و جمعیت هم‌خون‌ها

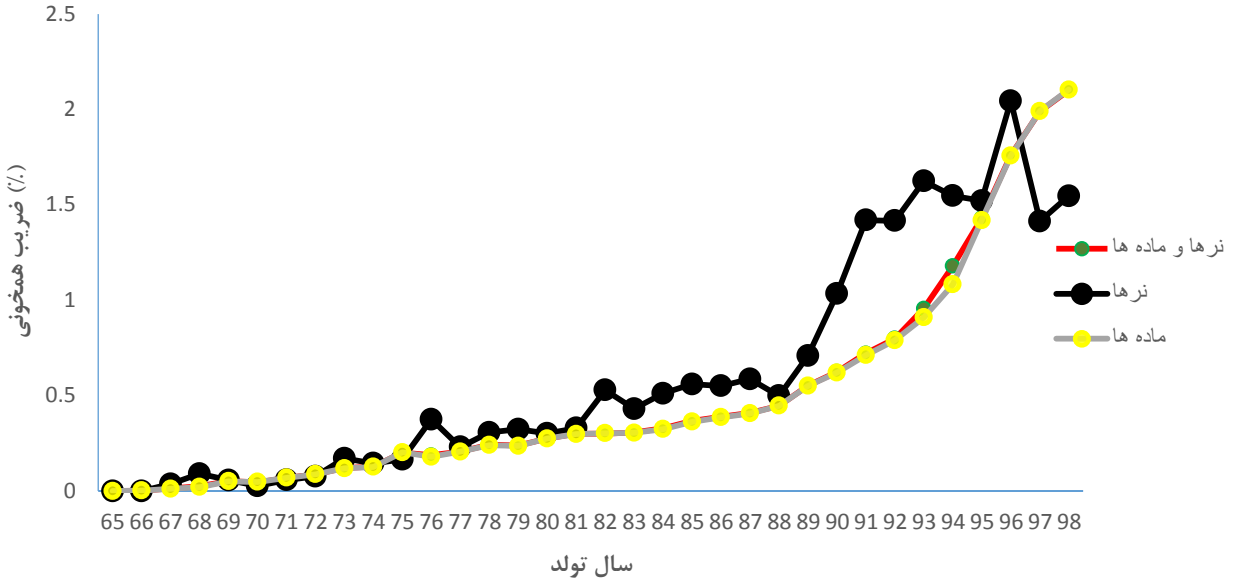
جمعیت		تعداد	میانگین (٪)	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
کل						
	نر و ماده	۲۳۹۴۵۱۷	۰/۷۷۷	۱/۸۳۶	۰	۴۶/۸۲
	نر	۱۰۰۶۲۶	۱/۰۷۶	۱/۸۵۴	۰	۳۱/۱۹
	ماده	۲۲۹۳۸۹۱	۰/۷۶۴	۱/۸۳۴	۰	۴۶/۸۲
همخون‌ها						
	نر و ماده	۱۱۰۶۸۴۷	۱/۶۸۱	۲/۴۰۲	۰/۰۱	۴۶/۸۲
	نر	۴۵۳۳۱	۲/۳۸۸	۲/۱۲۰	۰/۰۱	۳۱/۱۹
	ماده	۱۰۶۱۵۱۶	۱/۶۵۱	۲/۴۰۹	۰/۰۱	۴۶/۸۲

جدول ۳- توزیع حیوانات نر و ماده در گروه‌های هم‌خونی

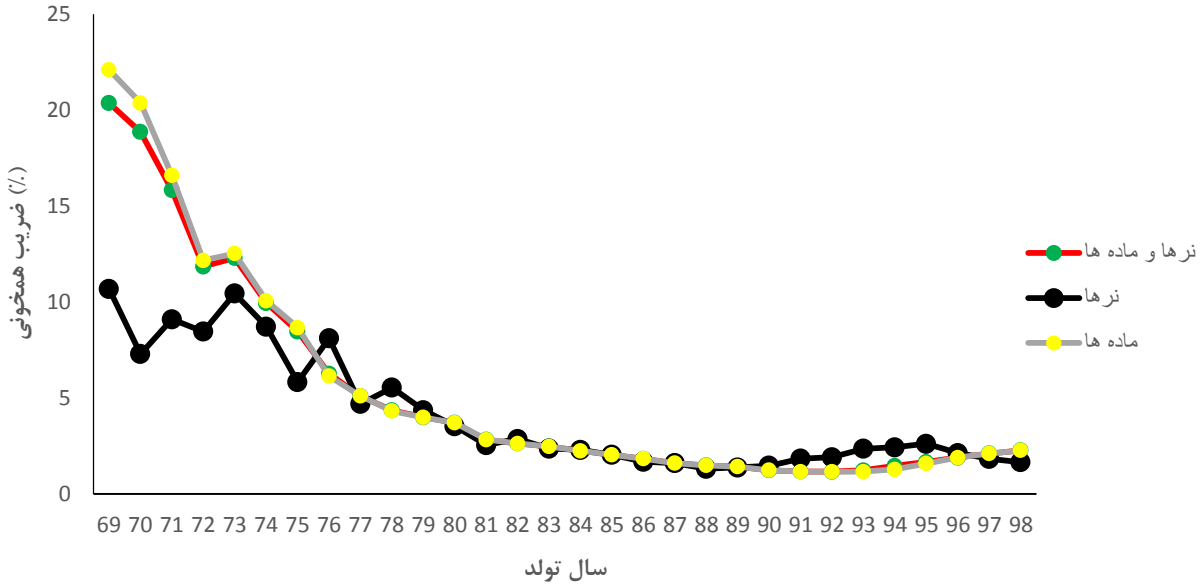
گروه‌های هم‌خونی	نر و ماده	نر	ماده
$F = ۰$	۱۲۸۷۶۷۰	۵۵۲۹۵	۱۲۳۲۳۷۵
$۰ < F \leq ۶/۲۵$	۱۰۸۰۷۰۵	۴۳۳۵۴	۱۰۳۷۳۵۱
$۶/۲۵ < F \leq ۱۲/۵۰$	۱۷۱۰۷	۱۶۸۷	۱۵۴۲۰
$۱۲/۵۰ < F \leq ۱۸/۷۵$	۲۲۷۳	۲۲۹	۲۰۴۴
$۱۸/۷۵ < F \leq ۲۵$	۲۰۴۴	۳۳	۲۰۱۱
$F > ۲۵$	۴۷۱۸	۲۸	۴۶۹۰

جدول ٤- میانگین تولید و افت ناشی از هم‌خونی

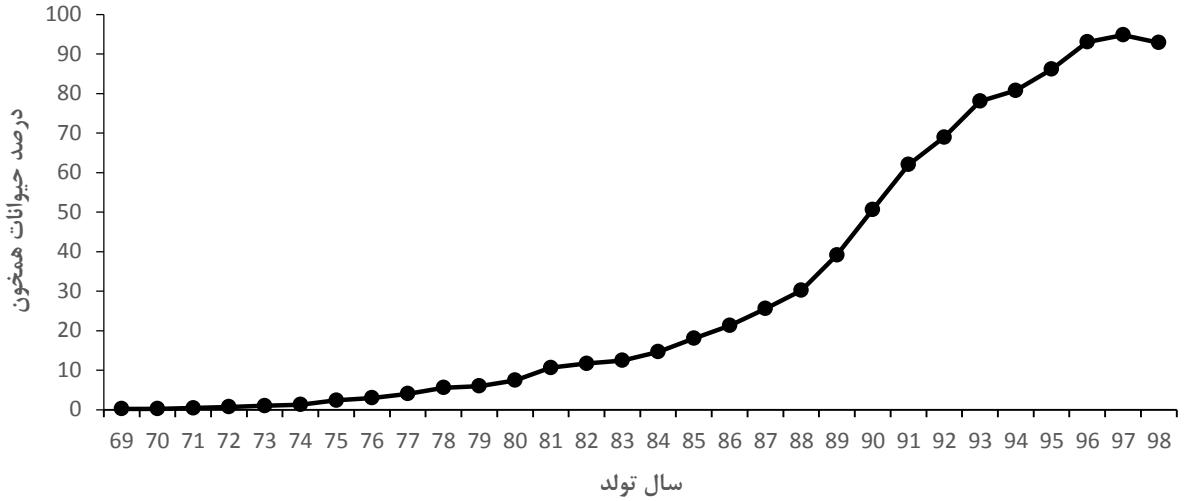
صفت	میانگین (کیلوگرم)	انحراف معیار	افت ناشی از همخونی
شیر	۸۷۳۰/۰۱۳	۱۴۷۰/۶۴۷	-۱۱/۸۷
چربی	۲۷۱/۶۳۰	۶۱/۷۴۶	-۰/۳۹
پروتئین	۲۶۰/۸۲۲	۴۳/۹۰۸	-۰/۲۹



شکل ۱- روند هم‌خونی جمعیت هلشتاین ایران بر مبنای سال تولد



شکل ۲- روند هم‌خونی حیوانات هم‌خون جمعیت هلشتاین ایران بر مبنای سال تولد



شکل ۳- روند تغییرات تعداد حیوانات هم‌خون بر مبنای سال تولد

نتیجه‌گیری

میانگین ضریب هم‌خونی کل جمعیت و حیوانات هم‌خون جمعیت گاوهای هلشتاین ایران به ترتیب ۰/۷۷۷ و ۱/۶۸۱ درصد محاسبه شد. هرچند، تعداد کمی از حیوانات از ضریب هم‌خونی بالایی برخوردار بودند، ولی تعداد حیوانات هم‌خون افزایش نشان داد. همچنین، در سال‌های اخیر افزایش هم‌خونی سرعت بیشتری داشته است. بنابراین، در حال حاضر وضعیت نگران کننده‌ای وجود ندارد، ولی جهت پیشگیری از افزایش هم‌خونی در آینده لازم است برنامه‌های آمیزشی به طور مداوم کنترل شوند و حیواناتی در برنامه آمیزش شرکت کنند که نسبت به میانگین جمعیت از خویشاوندی کمتری برخوردار هستند. همچنین، در صورت لزوم تعدادی والد نر یا اسپرم جدید به جمعیت اضافه شوند. در این مطالعه مشاهده شد که هم‌خونی حیوانات روی صفات تولید شیر، چربی و پروتئین تأثیر منفی داشته است. این تأثیر منفی می‌تواند برای سایر صفات تولیدی و تولید مثلی نیز وجود داشته باشد. چنین می‌توان نتیجه گرفت که محدود کردن هر چه بیشتر آمیزش‌های خویشاوندی برای این جمعیت ضرورت دارد.

تشکر و قدردانی

این طرح به شماره مصوب TP13977 با حمایت مالی مجتمع آموزش عالی تربت جام انجام پذیرفت. همچنین، از مهندس امیر توحیدی به خاطر کمک در برنامه‌نویسی کامپیوتری سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

امیرزاده شمالی، ح.، رأفت، س.ع.، شجاع، ج.، علیجانی، ص. و ایرانزاده، ل. (۱۳۹۸). بررسی خویش‌آمیزی روی برخی از صفات تولیدی گاو نژاد سرابی. *نشریه پژوهش‌های علوم دامی*. ۲۹: ۱-۱۴.

توحیدی، ر.، واعظ ترشیزی، ر.، مرادی شهربابک، م. و صیادنژاد، م. ب. (۱۳۸۷). روند همخونی در جمعیت گاوهای هلشتاین ایران. *مجله علوم دامی ایران*. ۳۹: ۷۵-۸۱.

رکوعی، م.، واعظ ترشیزی، ر.، مرادی شهربابک، م.، سرگلزایی، م. و سورنسن، ا.ک. (۱۳۹۰). اثر هم‌خونی بر پارامترهای ژنتیکی صفات تولیدی و تولید مثل و روند ارزش‌های اصلاحی گاوهای هلشتاین ایران. *مجله علوم دامی ایران*. ۴۲: ۱-۱۰.

میرزامحمدی، الف. و رشیدی، الف. (۱۳۹۲). برآورد اجزای (کو)واریانس و اثر هم‌خونی بر روند ژنتیکی صفات تولیدی گاوهای هلشتاین در مناطق گرمسیر. *نشریه علوم دامی*. ۱۰۰: ۴۵-۵۲.

واحدی درمیان، ر.، فرهنگ فر، س.ه. و صیادنژاد، م.ب. (۱۳۹۹). بررسی اثر ضریب هم‌خونی بر تولید شیر، تعداد روزهای شیردهی و سن نخستین زایش گاوهای شیری ایران با استفاده از رگرسیون کوانتایل. *نشریه پژوهش‌های علوم دامی*. ۳۰: ۲۵-۳۹.

Atashi, H., Sayadnejad, M., Asaadi, A. (2011). The effect of inbreeding on lactation performance in Holstein cows of Iran. *Iranian Journal of Applied Animal Science*. 1: 253–256.

Bjelland, D. W., Weigel, K. A., Vukasinovic, N., Nkrumah, J. D. (2013). Evaluation of inbreeding depression in Holstein cattle using whole-genome SNP markers and alternative measures of genomic inbreeding. *Journal of Dairy Science*. 96: 4697–706.

Bifani, S., Samoré, A., Canavesi, F. (2002). Inbreeding depression for production, reproduction and functional traits in Italian Holstein cattle. In Proceedings of the 7th world congress on genetics applied to livestock production: 19–23 August 2002; Montpellier. 183–186.

Casanova, L., Hagger, C., Kuenzi, N. and Schneeberger, M. 1992. Inbreeding in Swiss Braunvieh and its influence on breeding values predicted from a repeatability animal model. *Journal of Dairy Science*. 75:1119–1126.

Cassell, B. G., Adamec, V. and Pearson, R. E. (2003). Effect of incomplete pedigrees on estimates of inbreeding and inbreeding depression for days to first service and summit milk yield in Holsteins and Jerseys. *Journal of Dairy Science*. 86: 2967–2976.

Clark, S. A., Kinghorn, B. P., Hickey, J. M. and van der Werf, J. H. J. (2013). The effect of genomic information on optimal contribution selection in livestock breeding programs. *Genetics Selection Evolution*. 45: 44.

Coffey, E. L., Horan, B., Evans, R. D. and Berry, D. P. (2016). Milk production and fertility performance of Holstein, Friesian, and Jersey purebred cows and their respective crosses in seasonal-calving commercial farms. *Journal of Dairy Science*. 99: 5681–5689.

Colleau J. J. (2002). An indirect approach to the extensive calculation of relationship coefficients. *Genetics Selection Evolution*. 34: 409–421.

Croquet, C., Mayeres, P., Gillon, A., Vanderick, S. and Gengler, N. (2006). Inbreeding depression for global and partial economic indexes, production, type, and functional traits. *Journal of Dairy Science*. 89: 2257–2267.

Croquet, C., Mayeres, P., Gillon, A., Hammami, H., Soyeurt, H., Vanderick, S. and Gengler, N. (2007). Linear and curvilinear effects of inbreeding on production traits for Walloon Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 90: 465–471.

Curik, I., Solkner, J. and Stipic, N. (2001). The infuence of selection and epistasis on inbreeding depression estimates. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 118: 247–262.

Curik, I., Solkner, J. and Stipic, N. (2002). Effects of models with finite loci, selection, dominance, epistasis and linkage on inbreeding coefficients based on pedigree and genotypic information. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 119: 101–115.

Dadar, M., Ansari Mahyari, S., Rokouei, M. and Edriss M. A. (2014). Rates of inbreeding and genetic diversity in Iranian Holstein cattle. *Animal Science Journal*. 85: 888–894.

Danchin-Burge, C., Hiemstra, S. J. and Blackburn, H. D. (2011) Ex situ conservation of Holstein-Friesian cattle: comparing the Dutch, French and USA germplasm collections. *Journal of Dairy Science*. 94: 4100–4108.

Doekes, H. P., Veerkamp, R. F., Bijma, P., Hiemstra, S. J., Windig, J. J. (2015). Trends in genome-wide and region-specifc genetic diversity in the Dutch-Flemish Holstein–Friesian breeding program from 1986 to 2015. *Genetics Selection Evolution*. 50:15.

Doekes, H. P., Veerkamp, R. F., Hiemstra, S. J., Bijma, P., van der Beek, S., Windig, J. J. (2018). Genomic selection and inbreeding and kinship in Dutch-Flemish Holstein–Friesian cattle. In Proceedings of the 11th world congress on genetics applied to livestock production: 11–16 February 2018; Auckland; 2018;90.

Doekes, H. P., Veerkamp, R. F., Bijma, P., de Jong, G., Hiemstra, S. J., Windig, J. J. (2019). Inbreeding depression due to recent and ancient inbreeding in Dutch Holstein-Friesian dairy cattle. *Genetics Selection Evolution*. 51:54.

Falconer, D. S. and Mackay, F. C. (1996). Introduction to quantitative genetics, 4th edn. Longman Group Ltd, Harlow, UK.

Gama, L. T. and Smith, C. (1993). The role of inbreeding depression in livestock production systems. *Livestock Production Science*. 36: 203–211.

Hinrichs, D., Bennewitz, J., Wellmann, R. and Taller, G. (2015). Estimation of ancestral inbreeding effect on stillbirth, calving ease and birth weight in German Holstein dairy cattle. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 132:59–67.

HOFMANNOVA, M., Pribyl, J., Krupa, E. and Pesek, P. (2019). Estimation of inbreeding effect on conception in Czech Holstein. *Czech Journal of Animal Science*. 64: 309–316.

Hammami, H., Croquet, C., Stoll, J., Rekik, B. and Gengler, N. (2007). Genetic diversity and joint-pedigree analysis of two importing Holstein populations. *Journal of Dairy Science*. 90: 3530–3541.

Honda, T., Nomura, T., Yamaguchi, Y. and Mukai, F. (2004). Monitoring of genetic diversity in the Japanese Black cattle population by the use of pedigree information. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 121: 242–252

Jain, S. K. and Allard, R. W. (1965). The effects of linkage, epistasis, and inbreeding on population changes under selection. *Genetics*. 53: 633–659.

Keller, M. C., Visscher, P. M. and Goddard, M. E. (2011). Quantification of inbreeding due to distant ancestors and its detection using dense single nucleotide polymorphism data. *Genetics*. 189: 237–249.

Koenig, S., and Simianer, H. (2006). Approaches to the management of inbreeding and relationship in the German Holstein dairy cattle population. *Livestock Science*. 103: 40–53

Kristensen, T. N. and Sørensen, A. C. (2005). Inbreeding–lessons from animal breeding, evolutionary biology and conservation genetics. *Animal Science*. 80: 121–33

Kristensen, T. N., Pedersen, N. C., Vermeulen, C. J. and Loeschcke, V. (2010). Research on inbreeding in the 'omic' era. *Trends in Ecology and Evolution*. 25: 44–52.

Leroy, G., Mary-Huard, T., Verrier, E., Danvy, S., Charvolin, E. and Danchin-Burge, C. (2013). Methods to estimate effective population size using pedigree data: examples in dog, sheep, cattle and horse. *Genetics Selection Evolution*. 45: 1.

Leroy, G. (2014). Inbreeding depression in livestock species: review and meta-analysis. *Animal Genetics*. 45: 618–628.

Mc Parland, S., Kearney, J. F., Rath, M. and Berry, D. P. (2007). Inbreeding effects on milk production, calving performance, fertility, and conformation in Irish Holstein–Friesians. *Journal of Dairy Science*. 90: 4411–4419.

Mc Parland, S., Kearney, F. and Berry, D. P. (2009). Purging of inbreeding depression within the Irish Holstein-Friesian population. *Genetics Selection Evolution*. 41: 16.

Melka, M. G., Stachowicz, K., Sargolzaei, M., Miglior, F. and Schenkel, F. S. (2008). Assessment of genetic diversity in Canadian colored dairy breeds using pedigree data. Proc. Canadian Soc. Anim. Sci. Annu. Mtg., Guelph, Ontario, Canada. CD-ROM communication no. PC13.

Meyer, K. (2007). WOMBAT – A tool for mixed model analyses in quantitative genetics by REML. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*. 8: 815–821.

Miglior, F., Szkotnicki, B. and Burnside, E. B. (1992). Analysis of levels of inbreeding and inbreeding depression in Jersey cattle. *Journal of Dairy Science*. 75: 1112-1118.

Nietlisbach, P., Keller, L. and Postma, E. (2016). Genetic variance components and heritability of multiallelic heterozygosity under inbreeding. *Heredity*. 116: 1–11.

Sargolzaei, M., Iwaisaki, H. and Colleau, J. J. (2006). CFC: A Tool for Monitoring Genetic Diversity. In: Proceedings of the 8th WCGALP. CD-ROM, Communication, Belo Horizonte, 27-28.

Silio, L., Rodriguez, M. C., Fernandez, A., Barragan, C., Benitez, C., Ovilo, C. and Fernandez A. I. (2013). Measuring inbreeding and inbreeding depression on pig growth from pedigree or SNPderived metrics. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 130: 349–60.

Silva, M. H. M. A., Malhado, C. H. M., Costa Jr, J. L., Cobuci, A. J., Costa, C. N. and Carneiro, P. L. S. (2016). Population genetic structure in the Holstein breed in Brazil. *Tropical Animal Health Production*. 48: 331–336.

Silva, M. H. M. A., Malhado, C. H. M.; Kern, E. L., Daltro, D. S., Cobuci, J. A. and Carneiro, P. L. S. (2019). Inbreeding depression in Holstein cattle in Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 48: e20170212.

Sorensen, A. C., Madsen, P., Sorensen, M. K. and Berg, P. (2006). Udder health shows inbreeding depression in Danish Holsteins. *Journal of Dairy Science*. 89: 4077–4082.

Stachowicz, K., Sargolzaei, M., Miglior, F. and Schenkel, F.S. (2011). Rates of inbreeding and genetic diversity in Canadian Holstein and Jersey cattle. *Journal of Dairy Science*. 94 :5160–5175.

Tohidi, R., Vaez Torshizi, R., Moradi Shahrbabak, M. and Sayyad Nejad, M. B. (2002). Inbreeding and its effects on milk and fat yields of Iran Holsteins. Proc. 7th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., CD-ROM Commun. 01–55.

VanRaden, P. M. (1992). Accounting for inbreeding and crossbreeding in genetic evaluation of large populations. *Journal of Dairy Science*. 75: 3136–3144.

Veerkamp, R. F., Kaal, L., de Haas, Y. and Oldham, J. D. (2013). Breeding for robust cows that produce healthier milk: ROBUSTMILK. *Advances in Animal Biosciences*. 4:594–599.

Wiggans, G. R., VanRaden, P. M. and Zuurbier, J. (1995). Calculation and use of inbreeding coefficients for genetic evaluation of United States dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 78: 1584–1590.